



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 101 42 669 A 1

51 Int. Cl. 7:
F 01 N 9/00
F 02 D 43/04

21 Aktenzeichen: 101 42 669.0
22 Anmeldetag: 31. 8. 2001
43 Offenlegungstag: 3. 4. 2003

DE 101 42 669 A 1

71 Anmelder:
Bayerische Motoren Werke AG, 80809 München,
DE

72 Erfinder:
Buch, Gabriele, Dr., 81379 München, DE;
Detterbeck, Stefan, 80804 München, DE; Müller,
Peter, 81673 München, DE; Ramatschi, Stephan,
85604 Zorneding, DE; Preuß, Florian, 80809
München, DE; Hasenclever, Hanns-Christian, Dr.,
80809 München, DE; Keenan, Matthew, Dr., 81539
München, DE

56 Entgegenhaltungen:

DE 198 52 294 A1
DE 195 22 165 A1
= US 56 57 625
DE 100 05 954 A1
DE 41 06 249 A1
DE 6 95 14 148 T2
DE 6 94 01 624 T2

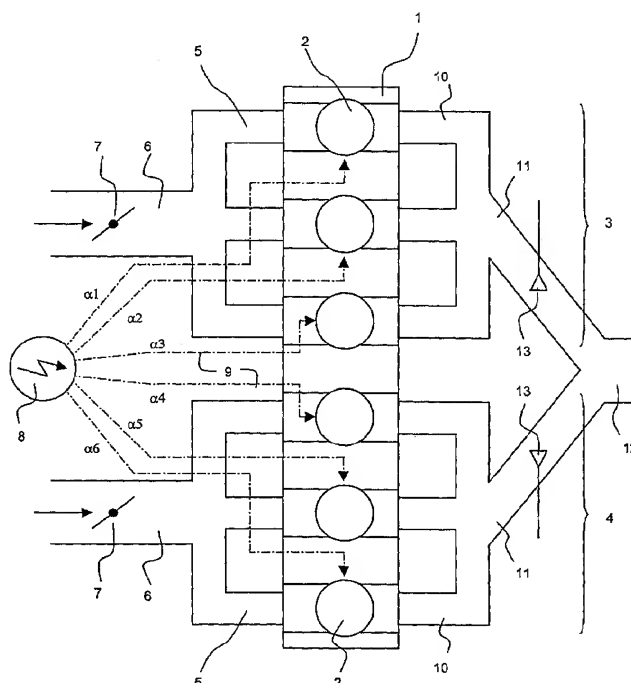
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Motorsteuerung und Verfahren zum Reinigen eines Katalysators in einer Abgasanlage einer Mehrzylinderbrennkraftmaschine

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Reinigen eines Katalysators (17, 18) in einer Abgasanlage einer Mehrzylinderbrennkraftmaschine.

Um die schnelle und genaue Einstellung einer für die Reinigung des Katalysators erforderlichen Temperatur sicherzustellen, wird der Zündwinkel (α) durch die Zündvorrichtung (8) um eine Zündwinkelverstellung ($\Delta\alpha$) verschoben, so dass eine vorgegebene Zündwinkelverstelltemperatur (T_α) in dem Katalysator (17, 18) erreicht wird, und die wenigstens eine erste und die wenigstens eine zweite Zylindergruppe (3, 4) jeweils mit einem Luftkraftstoffgemisch versorgt, wobei durch eine erste bzw. eine zweite Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtung (7) die Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis (λ_1) einer wenigstens einen ersten Zylindergruppe (3) und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis (λ_2) einer wenigstens einen zweiten Zylindergruppe (4) so eingestellt wird, dass die Temperatur (T) in dem Katalysator (17, 18) von der Zündwinkelverstelltemperatur (T_α) auf die Zieltemperatur (T_z) steigt.



DE 101 42 669 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft eine Motorsteuerung und ein Verfahren zum Reinigen eines Katalysators in einer Abgasanlage einer Mehrzylinderbrennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 10 bzw. Anspruch 1.

[0002] Für die Abgasnachbehandlung von saugrohr- und direkteinspritzenden Ottomotoren, welche mit einem Luft-Kraftstoffverhältnis $\lambda > 1$ (mager) betrieben werden, kommen sog. NOx-Speicherkatalysatoren zum Einsatz. Diese Katalysatoren werden durch den im Kraftstoff enthaltenen Schwefel im Verlauf ihres Betriebs zunehmend vergiftet (Schwefel wird anstatt NOx im Katalysator eingelagert). Damit wird eine Entschwefelung des Katalysators notwendig, da sich ansonsten der Katalysatorwirkungsgrad bezüglich NOx bis hin zu unzulässigen Werten verringert. Für die Entschwefelung muss der Katalysator mit einer Mindesttemperatur (z. B. 650°C) und einer fetten Abgaszusammensetzung ($\lambda < 1$) beaufschlagt werden. Diese Bedingungen können zum Beispiel während einer Autobahnfahrt erreicht werden. Bewegt man allerdings ein Fahrzeug ausschließlich in niedrigen Lastbereichen, beispielsweise nur im Stadtverkehr, werden die Bedingungen für eine Desulfatisierung nicht erreicht. Darüber hinaus kann es auch zu einem sog. "Ausgehen" des Katalysators im Betrieb kommen. Unter Betriebsbedingungen, in denen sehr geringe Abgastemperaturen vorliegen (Leerlauf, Niedriglast, ...) kann der Katalysator unter seine Aktivitätstemperatur abfallen, was zu unzulässig hohen Emissionen führt.

[0003] In beiden Fällen muss die Temperatur im NOx-Speicherkatalysator "künstlich" über die Motorsteuerung erzeugt werden. Möglichkeiten hierfür stellen Zündwinkelspätverstellung, Doppeleinspritzung und auch die sog. "Bankvertrimmung" dar. Die Bankvertrimmung ist eine sehr wirkungsvolle Katalysatorheizmaßnahme. Das Prinzip beruht darauf, dass bei einem Mehr-Zylindermotor mit einer "Y-Abgasanlage" ein Teil der Zylinder (erste Zylinderbank) fett betrieben wird und der andere Teil der Zylinder (zweite Zylinderbank) mager betrieben wird. Das Abgas der beiden Zylinderbänke, also das fette Abgas ($\lambda < 1$) der ersten Zylinderbank und das magere Abgas ($\lambda > 1$) der zweiten Zylinderbank, wird vor dem Unterbodenkatalysator zusammengeführt. In dem NOx-Unterbodenspeicherkatalysator dient das Abgas der fett betriebenen Bank als HC- und CO-Lieferant, und das Abgas der mager betriebenen Bank dient als Sauerstofflieferant. Die Bankvertrimmung wird so ausgelegt, dass sich vor dem Unterbodenkatalysator ein annähernd stöchiometrisches Gemisch einstellt. Die exothermen Reaktionen im Katalysator führen dann zu einer starken Erwärmung des Unterbodenkatalysators, ohne dass die Abgasrohre vor dem Unterbodenkatalysator erwärmt werden müssen. Dies stellt einen deutlichen Vorteil gegenüber anderen Heizmaßnahmen dar.

[0004] Aus US 5 657 625 ist eine Steuereinrichtung für einen Verbrennungsmotor mit einem Abgaskatalysatorsystem zur Reinigung des Abgases von Stickoxiden bekannt. Das Abgaskatalysatorsystem adsorbiert Stickoxide aus dem Abgas, wenn der Motor mager betrieben wird, d. h. wenn das Luftkraftstoffverhältnis des Luftkraftstoffgemisches für den Motor magerer als das theoretische Luftkraftstoffverhältnis ist, und reduziert adsorbierte Stickoxide, wenn der Motor fett betrieben wird und das Luftkraftstoffverhältnis des Luftkraftstoffgemisches gleich oder größer als das theoretische Luftkraftstoffverhältnis ist. Die Steuereinrichtung umfasst eine Adsorptionsgradabschätzung zum Abschätzen eines Adsorptionsgrades zum Entfernen von Substanzen, durch die die Filterung von Stickoxid beeinträchtigt wird, das durch das Abgaskatalysatorsystem gebunden wird, und

zum Bestimmen, ob der abgeschätzte Adsorptionsgrad einen vorgegebenen Wert erreicht hat, sowie eine Katalysatorheizvorrichtung zum Entfernen der die Stickoxidfilterung beeinträchtigenden Substanzen durch Erhöhen einer Temperatur des Abgaskatalysatorsystems durch Verändern einer Betriebsbedingung des Verbrennungsmotors, so dass eine Abgastemperatur steigt, wenn die Adsorptionsgradabschätzung festlegt, dass der abgeschätzte Adsorptionsgrad den vorgegebenen Wert erreicht hat.

[0005] Aus DE 198 52 294 ist eine sog. Y-Abgasanlage einer Mehrzylinder-Brennkraftmaschine mit zumindest einem Anlagenteil bekannt, bei dem die Brennkraftmaschinen-Abgase oder Teile davon zunächst durch zumindest zwei auf Zylindergruppen aufgeteilte Teilleitungsstränge geführt sind, in denen jeweils ein Startkatalysator eingesetzt ist und die sich zu einem gemeinsamen Hauptabgasrohr vereinigen, in dem ein Hauptkatalysator eingesetzt ist, wobei zumindest eine Lambda-Sonde vor und eine Lambda-Sonde nach den Katalysatoren angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass vor jedem Startkatalysator eine Lambda-Sonde angeordnet ist, und zumindest in einem Teilleitungsstrang nach dem Startkatalysator eine zusätzliche Lambda-Sonde angeordnet ist.

[0006] Ein Nachteil des genannten Standes der Technik besteht darin, dass je nach Betriebsbedingungen die Bankvertrimmung u. U. nicht ausreicht, um die gewünschte Entgiftungs- und insbesondere Desulfatisierungstemperatur zu erreichen, da z. B. ansonsten die Laufruhe des Motors beeinträchtigt wird.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Motorsteuerung und ein Verfahren zum Reinigen eines Katalysators in einer Abgasanlage einer Mehrzylinderbrennkraftmaschine im Betrieb des Fahrzeugs anzugeben, wodurch die schnelle und genaue Einstellung einer für die Reinigung des Katalysators erforderlichen Temperatur sichergestellt wird.

[0008] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Reinigen eines Katalysators nach Anspruch 1 und eine Motorsteuerung nach Anspruch 10. Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0009] Zur Lösung der Aufgabe wird eine schnelle Regelstrategie mit sinnvoller Aufteilung zwischen Heizmaßnahmen über Zündwinkleinstellung und Bankvertrimmung implementiert, bei der sichergestellt ist, dass der Katalysator nicht durch zu hohe Temperaturen zerstört wird.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Reinigen eines Katalysators in einer Abgasanlage einer Mehrzylinderbrennkraftmaschine, die wenigstens eine erste und wenigstens eine zweite Zylindergruppe mit jeweils mehreren Zylindern aufweist, wobei die Abgasanlage mehrere Teilleitungsstränge umfasst, die jeweils von der wenigstens einen ersten Zylindergruppe bzw. von der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe ausgehen und sich zu einem gemeinsamen Hauptabgasrohr vereinigen, in dem der Katalysator angeordnet ist, und jede der wenigstens einen ersten und der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe mit einem Luftkraftstoffgemisch versorgt wird, dessen Luftkraftstoffverhältnis durch eine von mehreren unabhängig ansteuerbaren Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtungen einstellbar ist, mit den Schritten: Erfassen des jeweiligen momentanen Luftkraftstoffverhältnisses der wenigstens einen ersten und der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe durch wenigstens eine erste und wenigstens eine zweite Lambdasonde, Einstellen des Zündwinkels und Zünden des Luftkraftstoffgemischs in dem jeweiligen Zylinder durch eine Zündvorrichtung, wobei eine Steuerungsvorrichtung zum Steuern mit den mehreren unabhängig ansteuerbaren Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtungen, mit der Zündvorrichtung und mit

der wenigstens einen ersten und wenigstens einen zweiten Lambdasonde verbunden ist, Reinigen des Katalysators von unerwünschten Substanzen durch Verändern einer Betriebsbedingung der Mehrzylinderbrennkraftmaschine, so dass sich die Temperatur des Katalysators für eine vorgegebene Dauer auf eine vorgegebene Zieltemperatur erhöht, ist gekennzeichnet durch die Schritte Verschieben des Zündwinkels durch die Zündvorrichtung um eine Zündwinkelverstellung, so dass eine vorgegebene Zündwinkelverstelltemperatur in dem Katalysator erreicht wird, und Versorgen der wenigstens einen ersten und der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe jeweils mit einem Luftkraftstoffgemisch, wobei durch die erste bzw. die zweite Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtung die Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis der wenigstens einen ersten Zylindergruppe und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe so eingestellt wird, dass die Temperatur in dem Katalysator von der Zündwinkelverstelltemperatur auf die Zieltemperatur steigt.

[0011] Bevorzugt werden die folgenden Merkmale bzw. Kombinationen der folgenden Merkmale verwirklicht: die Zündwinkelverstelltemperatur in dem Katalysator wird so gewählt, dass die Laufruhe des Motors einen vorgegebenen Wert nicht unterschreitet; die Zündwinkelverstelltemperatur in dem Katalysator hängt von einer Anzahl von vorherigen Fehlversuchen der Reinigung des Katalysators ab; bei jedem Reinigen wird ein Wert in einem Register inkrementiert, der auf Null gesetzt wird, wenn die Reinigung des Katalysators erfolgreich abgeschlossen wurde; bei jeder Inkrementierung des Wertes in dem Register steigt die Zündwinkelverstelltemperatur jeweils um einem vorgegebenen Betrag; die Zündwinkelverstelltemperatur hängt von dem Quotienten aus der momentanen Differenz und der maximal möglichen Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis ab; die Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis nimmt anfangs einer Reinigungsperiode einen Maximalwert an und strebt anschließend stetig gegen einen stationären Wert; das erste und das zweite Luftkraftstoffverhältnis liegen abwechselnd über bzw. unter einem Mittelwert, so dass die Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis oszilliert.

[0012] Die entsprechende erfindungsgemäße Motorsteuerung einer Mehrzylinderbrennkraftmaschine ist dadurch gekennzeichnet, dass zum Reinigen des Katalysators von unerwünschten Substanzen durch Verändern einer Betriebsbedingung der Mehrzylinderbrennkraftmaschine bei einer vorgegebenen Zieltemperatur, die für eine vorgegebene Dauer eingehalten wird, durch die Zündvorrichtung der Zündwinkel um eine Zündwinkeldifferenz verschoben wird, so dass eine vorgegebene Zündwinkelverstelltemperatur in dem Katalysator erreicht wird, und durch die erste bzw. die zweite Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtung die Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis der wenigstens einen ersten Zylindergruppe und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe so eingestellt wird, dass die Temperatur in dem Katalysator von der Zündwinkelverstelltemperatur auf die Zieltemperatur steigt.

[0013] Dabei wird vorzugsweise ein zusätzlicher NOx-Sensor hinter dem Katalysator angeordnet, um die Effizienz des Katalysators zu überwachen.

[0014] Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, dass ihre Implementierung ohne zusätzliche Vorrichtungen und damit kostengünstig möglich ist. Ferner ist das erfindungsgemäße

Verfahren effektiv in Bezug auf den dadurch verursachten Kraftstoffverbrauch und die Fahrbarkeit bei gleichzeitiger Sicherstellung der notwendigen Entschwefelung des Katalysators. Dadurch wird über die Lebensdauer des Katalysators ein guter Katalysatorwirkungsgrad bezüglich NOx gewährleistet. Außerdem wird eine thermische Schädigung des Katalysators vermieden.

[0015] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen, wobei Bezug genommen wird auf die beigefügten Zeichnungen.

[0016] Fig. 1 zeigt schematisch einen ersten Abschnitt eines für die Anwendung der Erfindung geeigneten Motors mit den wesentlichen Elementen.

[0017] Fig. 2A zeigt schematisch einen zweiten Abschnitt eines für die Anwendung der Erfindung geeigneten Motors mit den wesentlichen Elementen, und Fig. 2B zeigt den Temperaturverlauf innerhalb des Katalysators zu zwei verschiedenen Zeitpunkten.

[0018] Fig. 3A bis 3C zeigen jeweils den zeitlichen Verlauf von Motorparametern nach einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0019] Fig. 4 zeigt den zeitlichen Verlauf eines Motorparameters nach einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0020] Fig. 5 zeigt ein Flussdiagramm einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0021] Fig. 6 zeigt einen Abschnitt eines Flussdiagramms einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0022] Fig. 7 zeigt die für die Erfindung wesentlichen Elemente einer Motorsteuerung einer Mehrzylinderbrennkraftmaschine.

[0023] Fig. 8 zeigt den zeitlichen Verlauf eines Motorparameters nach einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0024] In Fig. 1 ist schematisch ein Abschnitt eines für die Anwendung der Erfindung geeigneten Motors gezeigt. Die gezeigte Sechszylinder-Reihenbrennkraftmaschine umfasst einen Zylinderblock 1 mit mehreren Zylindern 2. Der Zylinderblock 1 ist in eine erste und eine zweite Zylindergruppe 3 bzw. 4 unterteilt. Die Zylinder 2 der beiden Zylindergruppen 3 und 4 werden über jeweils über eine Zufuhrleitung 5 mit einem Luftkraftstoffgemisch versorgt. Die einzelnen Zufuhrleitungen 5 vereinigen sich bei jeder der Zylindergruppen 3 und 4 zu einer Hauptzufuhrleitung 6 für die erste Zylindergruppe 3 bzw. für die zweite Zylindergruppe 4. Das Luftkraftstoffgemisch kann für jeden Zylinder 2 oder für wenigstens eine Gruppe (Bank) von Zylindern unabhängig eingestellt werden. In der gezeigten Brennkraftmaschine sind jeweils drei der sechs Zylinderzufuhrleitungen 5 zu einer der beiden Hauptzufuhrleitungen 6 zusammengeführt, und in jeder der beiden Hauptzufuhrleitungen 6 ist eine Drosselklappe 7 angeordnet, um die für die beiden Zylinderbanken unabhängige Einstellung des Luftkraftstoffgemisches anzudeuten. (In der Praxis werden unabhängige Drosselklappen bei großen Maschinen eingesetzt, ansonsten wird bei kleineren Maschinen die Einstellung des Luftkraftstoffgemisches durch die Öffnungsdauer der Einspritzventile gesteuert.) Die Steuerung des Luftkraftstoffgemisches über eine (nicht dargestellte) Elektronik hängt dabei vom Fahrwunsch ab (Zusatzsteuerung oder e-Gas). Die Ansteuerung der Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtungen 7 erfolgt unabhängig voneinander. Das Luftkraftstoffgemisch in den Zylindern wird durch eine Zündvorrichtung 8 gezündet, die auch den Zündzeitpunkt bestimmt. Die Zündvorrichtung wird von einer Motorsteuerung angesteuert und ist mit den Zündeinrichtungen im Zylinder 2 über Zündleitungen 9 ver-

bunden. In **Fig. 1** ist an jeder der Zündleitungen **9** der jeweilige frei wählbare Zündwinkel α_1 , α_2 , α_3 , α_4 , α_5 und α_6 angegeben.

[0025] Hinter jedem Zylinder **2** folgt eine Abgasleitung **10**, über die das Abgas aus dem jeweiligen Zylinder **2** ausströmt. Die Abgasleitungen **10** der Zylinder vereinigen sich bei jeder Zylindergruppe **3** bzw. **4** zu einem Teilstrang **11**. Die mehreren Teilstränge **11** laufen wiederum zusammen in einem gemeinsamen Hauptabgasrohr **12**.

[0026] Die Abgasanlage ist genauer in **Fig. 2A** dargestellt. Wie bereits erläutert laufen die von den Zylindern **2** des Zylinderblocks **1** ausgehenden Abgasleitungen **10** je nach Zylindergruppe **3** oder **4** in einem Teilstrang **11** zusammen. Die Teilstränge **11** vereinigen sich zu dem Hauptabgasrohr **12**. In dem Hauptabgasrohr **12** der Abgasanlage ist ein Katalysator **15** angeordnet. Der Katalysator **15** umfasst eine Katalysatorkammer **16**, in der in der dargestellten Ausführungsform zwei Monolithen **17** und **18** hintereinander angeordnet sind.

[0027] Zur Überwachung des Abgases ist in jedem der Teilstränge **11** eine Lambdasonde **13** vorgesehen, mit der die Zusammensetzung des Luftkraftstoffgemisches kontrolliert werden kann. Insbesondere wird das Luftkraftstoffverhältnis an die Motorsteuerung ausgegeben. In der dargestellten Ausführungsform ist darüber hinaus ein Temperaturfühler **14** in dem Hauptabgasrohr **12** vorgesehen, mit dem die Temperatur des Abgases unmittelbar vor dem Katalysator **15** erfasst wird und die Temperatur des Katalysators modelliert werden kann. Dies wird weiter unten genauer erläutert.

[0028] Zu Überwachung der Effizienz und zur Bestimmung des Zeitpunktes, zu dem eine Reinigung des Katalysators **15** erforderlich ist (weil ein vorgegebener Grenzwert für die Effizienz des Katalysators unterschritten wird), ist in dem Auspuffrohr **19** ein NOx-Sensor **20** vorgesehen, der laufend den NOx-Gehalt des Abgases erfasst. Steigt dieser NOx-Gehalt, so lässt die Effizienz des Katalysators **15** nach, und eine Reinigung des Katalysators **15** ist erforderlich.

[0029] Die Motorsteuerung und Überwachung der Parameter des Motors erfolgt durch eine Steuerungsvorrichtung (**24** in **Fig. 7**), die mit den mehreren unabhängig ansteuerbaren Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtungen **7**, mit der Zündvorrichtung **8** und mit der wenigstens einen ersten und wenigstens einen zweiten Lambdasonde **13** verbunden ist. Die Funktion und Arbeitsweise dieser Steuerungsvorrichtung wird weiter unten in Zusammenhang mit **Fig. 7** erläutert.

[0030] Zum Reinigen des Katalysators **15** mit den Monolithen **17** und **18** von unerwünschten Substanzen werden wenigstens eine der Betriebsparameter der Brennkraftmaschine verändert, so dass der Katalysator **15** auf eine vorgegebene Zieltemperatur T_z aufgeheizt wird. Zusätzlich zur Einstellung einer erhöhten Zieltemperatur wird das Luftkraftstoffverhältnis im Katalysator **15** verändert, so dass "reduzierende" Bedingungen vorliegen und die im Katalysator abgelagerten Verunreinigungen abgebaut werden können. Bei der vorgegebenen Zieltemperatur T_z , die für eine vorgegebene Dauer eingehalten werden muss, lösen sich die unerwünschten Substanzen von der Oberfläche des Katalysators, werden im Abgas abgebaut, und der Katalysator kann danach wieder mit optimaler Effizienz das Abgas aus den Zylindern **2** reinigen.

[0031] In **Fig. 2B** ist die Temperatur des Katalysators **15** über seine Länge zu Beginn der Heizphase und zu einem späteren Zeitpunkt als Kurve **21** aufgetragen. Gestrichelt dargestellt ist die Mittelebene des Katalysators, auf die sich die Steuerungsvorrichtung bei der Einstellung der Temperatur des Katalysators bezieht. Wie ersichtlich ist bei Beginn der Heizphase die Temperatur an dem motorseitigen Ende des Katalysators **15**, d. h. an dem entsprechenden Ende der

ersten Monolithen **15** hoch, sinkt dann aber ab. Das bedeutet, dass in den Schichten des Katalysators, die auf das motorseitige Ende des Katalysators **15** folgen, die Temperatur für eine Entgiftung evtl. nicht mehr ausreicht. Daher müssen Maßnahmen ergriffen werden, damit das Temperaturprofil **21** nivelliert wird und die Form der Kurve **22** annimmt.

[0032] Dazu wird erfindungsgemäß durch die Zündvorrichtung **8** der Zündwinkel α um eine Zündwinkeldifferenz $\Delta\alpha$ verschoben, so dass eine vorgegebene Zündwinkelverstelltemperatur T_α in dem Katalysator **17**, **18** erreicht wird, und durch die erste bzw. die zweite Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtung **7** die Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis λ_1 der wenigstens einen ersten Zylindergruppe **3** und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis λ_2 der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe **4** so eingestellt wird, dass die Temperatur T in dem Katalysator **17**, **18** von der Zündwinkelverstelltemperatur T_α auf die Zieltemperatur T_z steigt. Diese Schritte sind im einzelnen in **Fig. 3A**, **3B** und **3C** dargestellt. Die Darstellung ist dabei nicht maßstäblich, sondern nur schematisch. In **Fig. 3A** ist der für eine erfolgreiche Katalysatorentgiftung erforderliche Temperaturverlauf T als durchgezogene Linie gezeigt. Zu Beginn der Entgiftungsphase befindet sich die Temperatur des Katalysators auf einem Anfangswert T_0 . Das System erkennt nun, dass eine Entgiftung notwendig geworden ist und beginnt, die Temperatur im Katalysator zu erhöhen. Dazu wird wie in **Fig. 3B** gezeigt der Zündwinkel von α_0 auf α verstellt. Die Verstellung von α_0 auf α erfolgt derart, dass die Zündung in den Zylindern **2** später stattfindet. Dadurch sind die aus dem Zylinder **2** ausgestoßenen Abgase heißer, und der Katalysator wird entsprechend aufgeheizt. Die Verstellung von α_0 auf α sollte jedoch nicht dazu führen, dass die Laufruhe des Motors merklich leidet. (Die Laufruhe der Mehrzylinderbrennkraftmaschine wird vorzugsweise durch Erfassen der Amplitude niederfrequenter Schwingungen bestimmt.) Daher wird erfindungsgemäß neben der Zündwinkelverstellung auch das Luftkraftstoffverhältnis in den beiden Zylindergruppen **3** und **4** durch die Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtungen **7** verstellt. Diese "Bankvertrimmung" erfolgt dabei derart, dass das Luftkraftstoffverhältnis λ_1 der einen Zylindergruppe **3** unter den "normalen" (stöchiometrischen) Wert λ_0 fällt, während das Luftkraftstoffverhältnis λ_2 der anderen Zylindergruppe **4** über den "normalen" Wert λ_0 steigt. Insgesamt bleibt somit das Luftkraftstoffverhältnis λ_0 unverändert, d. h. in etwa auf einem Wert **1**, aber das Verhältnis der einzelnen Zylindergruppen **3** und **4** ändert sich.

[0033] Im einzelnen wird in einer ersten Ausführungsform der Erfindung der Maximalbereich der Temperaturerhöhung durch Zündwinkelverstellung und durch Lambdasplit für eine Zeitdauer Δt ausgeschöpft. Da danach eine erste Schicht der Katalysators **15** aufgeheizt ist, diese erste Schicht aber nicht überheizt werden darf, damit sie nicht zerstört wird, wird die Zündwinkelverstellung und die Lambdasplit-Maßnahme zurückgenommen auf einen kleineren Wert, der über eine zweite Zeitperiode Δt eingehalten wird, usw. bis der Temperaturverlauf in dem Katalysator **15** der Kurve **22** in **Fig. 2B** entspricht oder die Entgiftung abgebrochen wird.

[0034] Die durch die beiden Maßnahmen der Zündwinkelverstellung und Bankvertrimmung oder "Lambdasplit" erzielten Temperaturerhöhungen sind in **Fig. 3C** gezeigt. Wie ersichtlich leistet die Lambdasplit-Maßnahme normalerweise einen größeren Beitrag zu der Temperaturerhöhung von T_0 auf T_z .

[0035] Nach Ablauf einer vorgegebenen Dauer, z. B. von drei Perioden der Länge Δt ist der Katalysator entgiftet. Es ist aber möglich, dass die Entgiftung der Katalysators unter-

brochen wird. Die gestrichelte Linie in den **Fig. 3A, 3B und 3C** zeigt den Zeitpunkt eines möglichen Abbruchs der Entgiftung an. Die Temperatur T sinkt dann verhältnismäßig schnell wieder von dem Wert T_z auf einen Wert T_0 , was durch die gestrichelte Linie T' dargestellt ist. Damit wurde die erforderliche Mindestdauer der Heizphase zur Entgiftung des Katalysators nicht eingehalten, und es besteht auch danach weiterhin die Notwendigkeit, eine Entgiftung des Katalysators durchzuführen. Weitere Einzelheiten dazu ergeben sich aus **Fig. 5 und 6** sowie der dazugehörigen Erläuterung weiter unten.

[0036] Ein Abbruch der Entgiftung kann Folge eines kurzfristig veränderten Fahrverhaltens sein, es sollte aber nicht zwangsläufig zur Folge haben, dass die Brennkraftmaschine gänzlich auf ihren Zustand vor der Entgiftung zurückfährt, es ist nach einem Abbruch vielmehr wahrscheinlich (und auch sinnvoll), dass ein weiterer Versuch einer Entgiftung in Kürze gestartet wird, und daher erfolgt nach einem Abbruch vorzugsweise bereits unmittelbar im Anschluss eine "Vorbereitung" auf den nächsten Versuch einer Entgiftung. Diese Vorbereitung eines nächsten Entgiftungsversuches betrifft insbesondere die Zündwinkelverstellung, da sie im Vergleich zu der Lambdasplit-Maßnahme relativ träge ist.

[0037] In **Fig. 4** ist in vergrößerter Darstellung das Verhältnis der Temperaturänderung durch die Zündwinkelverstellung und die Lambdasplit-Maßnahme bei einem ersten Versuch einer Entgiftung und bei zwei nachfolgenden Versuchen einer Entgiftung des Katalysators in drei Abschnitten I, II und III gezeigt. In der Sektion I in **Fig. 4** wird die Zündwinkelverstellung auf α eingestellt, so dass sich daraus eine Temperaturerhöhung um $T\alpha$ im Katalysator **15** ergibt. Aus der Differenz der Zieltemperatur T_z und der durch die Zündwinkelverstellung erreichten Temperatur $T\alpha$ wird die erforderliche Temperaturerhöhung $T\lambda$ durch die Lambdasplit-Maßnahme errechnet.

[0038] Entsprechend wird der Lambdawert λ_1 und λ_2 in den beiden Zylindergruppen **3** und **4** eingestellt. Zusätzlich kann noch ein Regelbereich ΔTR für die Temperaturerhöhung durch die Lambdasplit-Maßnahme vorgesehen werden, um bei der Einregelung der Zieltemperatur T_z einen gewissen Spielraum zu haben.

[0039] In der Sektion II in **Fig. 4** wird die Zündwinkelverstellung gegenüber der Sektion I vergrößert, da eine vorangehende Entgiftung fehlgeschlagen ist und eine nächste Entgiftung vorbereitet werden soll. Mit anderen Worten, α wird auf einen Wert eingestellt, so dass sich $T\alpha$ um einen Betrag $\Delta T\alpha_1$ erhöht. Dementsprechend reduziert sich die Anforderung an $T\lambda$, $T\lambda$ ist nun etwas kleiner als $T\lambda$ im Fall der Sektion I.

[0040] Eine weitere Iteration der Erhöhung von $T\alpha$ ist in Sektion III gezeigt. Dort wurde nach zwei Fehlversuchen, den Katalysator **15** zu entgiften, α auf einen Wert eingestellt, so dass sich $T\alpha$ um einen Betrag $\Delta T\alpha_1$ und zusätzlich um einen Betrag $\Delta T\alpha_2$ erhöht. Dementsprechend reduziert sich die Anforderung an $T\lambda$ noch weiter, $T\lambda$ ist in Sektion II noch kleiner als $T\lambda$ in Sektion II.

[0041] Es versteht sich für den Fachmann von selbst, dass $\Delta T\alpha_1$, $\Delta T\alpha_2$, $\Delta T\alpha_3$ etc. die gleiche Größe haben können (linearer Zusammenhang zwischen Anzahl der Fehlversuche und $T\alpha$), sie können aber auch progressiv zunehmen oder progressiv abnehmen. Darüber hinaus können sie auch von weiteren externen Parametern abhängig gemacht werden wie von Prädiktionsparametern zum zu erwartenden Fahrverhalten (Stadtverkehr/Landstraße) des Fahrzeugs. Ferner kann die Zündwinkelverstelltemperatur $T\alpha$ von dem Quotienten aus der momentanen Differenz und der maximal möglichen Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis λ_1 und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis λ_2 ab-

hängig gemacht werden.

[0042] Eine Ausführungsform des Verfahrens zum Reinigen eines Katalysators **17, 18** in einer Abgasanlage einer Mehrzylinderbrennkraftmaschine ist in **Fig. 5** als Flussdiagramm dargestellt. Selbstverständliche Bestandteile eines Verfahrens zur Motorsteuerung mit dem Ziel der Katalysatorreinigung, die hier nicht weiter erläutert werden, ist das Erfassen des jeweiligen momentanen Luftkraftstoffverhältnisses λ_1 bzw. λ_2 der Zylindergruppen **3** und **4** durch die Lambdasonden **13** sowie das Einstellen des Zündwinkels α und Zünden des Luftkraftstoffgemischs in dem jeweiligen Zylinder **2** durch eine Zündvorrichtung **8**. Dazu ist die Steuerungsvorrichtung **24** zum Steuern mit den mehreren unabhängig ansteuerbaren Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtungen **7**, mit der Zündvorrichtung **8** und mit der wenigstens einen ersten und wenigstens einen zweiten Lambdasonde **13** verbunden.

[0043] Bei der Ausführungsform des Verfahrens nach **Fig. 5** wird in Schritt **31** festgestellt, dass ein "normaler" Fahrzustand vorliegt, in dem die Entgiftung des Katalysators grundsätzlich möglich ist, d. h. ab sämtliche Randbedingungen (Geschwindigkeit, Fahrprofil, etc.) erfüllt sind, um eine Entgiftung durchzuführen. Es wird also z. B. sichergestellt, dass das Fahrzeug nicht gerade im Stadtverkehr mit vielen Lastwechseln bewegt wird. Dementsprechend wird in Schritt **32** geprüft, ob eine Katalysatorentgiftung notwendig geworden ist. Fall dies nicht der Fall ist, springt das Verfahren zu Schritt **31** zurück oder (nicht dargestellt) springt aus der Routine ganz heraus. Wenn eine Katalysatorentgiftung notwendig ist, wird in Schritt **33** ein α und eine daraus resultierende Temperaturänderung $T\alpha$ berechnet. Randbedingungen dieser Berechnung sind dabei gewünschte Temperaturveränderung (um möglichst direkt Zieltemperatur zu erreichen) und Laufruhe des Motors. Zusätzlich wird in Schritt **34** abgefragt, ob bereits Entgiftungsversuche unternommen worden sind und erfolglos abgebrochen werden mussten. Wenn dies der Fall ist, springt das Verfahren von Schritt **34** zu Schritt **35**, in dem ein α -Offset berechnet wird, der in Schritt **36** zu α addiert wird, so dass die Temperaturänderung $T\alpha$ um einen Wert $\Delta T\alpha(1, 2, \dots)$ vergrößert wird.

[0044] Aufgrund des Wertes von $T\alpha$ wird das erforderliche $T\lambda$ und die entsprechende Differenz der λ -Werte für die beiden Zylindergruppen **3** und **4** in Schritt **37** berechnet. Zu diesem Schritt **37** gelangt man von Schritt **34** direkt, wenn in Schritt **34** festgestellt wird, dass noch kein Entgiftungsversuch vorgenommen worden ist vor dem aktuellen Versuch.

[0045] Schließlich werden in Schritt **38** die berechneten Werte von α , λ_1 und λ_2 an die jeweiligen Einstellvorrichtungen ausgegeben, so dass sich die Zieltemperatur T_z in dem Katalysator einstellt. Das Erreichen der Zieltemperatur wird in Schritt **39** verifiziert. Die Bedingungen müssen für eine Mindestdauer eingehalten werden, was in Schritt **40** überwacht wird. Der Ablauf dieser Mindestdauer wird laufend in Schritt **41** überprüft. Werden die Bedingungen für eine Entgiftung des Katalysators für die Mindestdauer nicht eingehalten, wird in Schritt **43** ein Wert N in einem Register um 1 inkrementiert. Dieser Wert N zeigt bei einem nächsten Versuch der Entgiftung des Katalysators an, dass bereits ein Fehlversuch erfolgt ist, was in Schritt **35** und **36** zur Modifizierung von α und damit von $T\alpha$ führt. Sind dagegen die Bedingungen für eine erfolgreiche Entgiftung des Katalysators für die Mindestdauer eingehalten worden, so wird in Schritt **42** ein eventuell von Null abweichender Wert in dem Register wieder auf Null gesetzt.

[0046] Eine alternative Ausführungsform des Verfahrens nach **Fig. 5**, soweit die Schritte **37** bis **42** betroffen sind, die in **Fig. 5** gestrichelt umrandet sind, ist in **Fig. 6** dargestellt.

[0047] Nach dem Berechnen der Werte für $T\lambda$ und λ_1

bzw. λ_2 in Schritt 37 wird α (errechnet in Schritt 33 bzw. 35 und 36) in Schritt 44 durch die Zündung 8 eingestellt. Anschließend werden in Schritt 45 durch die Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtungen 7 die Werte für λ_1 bzw. λ_2 eingestellt, und zwar in dieser Ausführungsform für die Dauer t_1 . In dem folgenden Schritt 46 wird die Differenz von λ_1 und λ_2 auf Null zurückgesetzt, so dass λ_1 bzw. λ_2 jeweils den Wert λ_0 annehmen, der für eine Dauer t_2 beibehalten wird. In Schritt 47 wird die Kerntemperatur des Katalysators abgeschätzt, die für die Entgiftung maßgeblich ist (es ist nicht etwa die Temperatur in der ersten Schicht des ersten Monolithen oder die durch die Temperatursonde 14 erfasste Temperatur vor dem Katalysator maßgeblich). In Schritt 48 wird anschließend verifiziert, ob die gewünschte Temperatur T_z bereits im Katalysator erreicht worden ist. Ist dies nicht der Fall, springt das Verfahren zu Schritt 45 zurück, bei dem durch die Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtungen 7 die Werte für λ_1 bzw. λ_2 eingestellt werden. Ist dagegen die erforderliche Temperatur bereits erreicht, springt das Verfahren nach Schritt 48 zu Schritt 49, bei dem abgefragt wird, ob die Temperatur im Katalysator den gewünschten Wert unterschritten hat. Wenn dem so ist, kehrt das System zurück zu der Aufheizschleife mit den Schritten 45 bis 48. Anderenfalls wird z. B. an dieser Stelle eine Abfrage 50 vorgesehen, ob die Entgiftung unterbrochen oder beendet werden soll. Falls ja springt das System aus der Routine und verlässt das Flussdiagramm über RETURN. Falls eine Unterbrechung nicht vorgesehen ist, erfolgt ein Rücksprung zu der Abfrage 49. Die Unterbrechungsanweisung ist durch ein "I" (interrupt) angedeutet. Dem Fachmann ist selbstverständlich klar, dass die Unterbrechung überall in dem Verfahren erfolgen kann und nicht an bestimmter Stelle regelmäßig abgefragt werden muss, sondern über "exceptions" oder "interrupts" bewirkt werden kann, durch die Subroutinen aufgerufen werden, die eine höhere Priorität der Verarbeitung haben als die Schritte 31 bis 50 der Verfahrensprozedur.

[0048] In Fig. 7 sind die wesentlichen Elemente der Motorsteuerung gezeigt, die für die Umsetzung der Erfindung notwendig sind. Der Motor 23 wird durch eine Steuerung 24 gesteuert. Diese ist mit den entsprechenden Stell- und Erfassungsgliedern verbunden, nämlich einer Zündwinklereinstellung/-erfassung, einer ersten Lambdaeinstellung/-erfassung und einer zweiten Lambdaeinstellung/-erfassung. Die Effizienz bzw. die erfolgreiche Beendigung eines Entgiftungsversuches überwacht die Steuerung 24 über einen NOx-Sensor 25. Bei jedem Fehlversuch einer Entgiftung wird ein Wert N in einem Register 29 über einen Addierer um 1 inkrementiert, so dass die Steuerung 24 den Wert von α wie in Fig. 4 gezeigt sukzessive hoch setzen kann.

[0049] Die Einstellung von λ_1 bzw. λ_2 kann auf verschiedenen Arten erfolgen. So kann die Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis λ_1 und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis λ_2 anfangs einer Reinigungsperiode einen Maximalwert annehmen und anschließend stetig gegen einen stationären Wert streben, um die Temperatur zu halten.

[0050] Im folgenden wird anhand von Fig. 8 eine bevorzugte Ausführungsform der Einstellung von λ_1 und λ_2 erläutert. Die Entgiftung des Katalysators von Schwefel erfolgt am besten dadurch, dass eine sogenannte Wechseldesulfatisierung realisiert wird (Wechsel zwischen fettem und magerem Gemisch am NOx-Speicherkatalysator, d. h. das Summenlambda oszilliert am Katalysator in engen Grenzen um $\lambda = 1$). Während dieses Vorgangs muss aber weiterhin geheizt werden. Bei der Bankvertrimmung ist dies durch wechselseitiges Verstellen der bankspezifischen Lambda-werte einfach möglich. Wird z. B. ein Summenlambda von $\lambda = 1$ vor dem Katalysator erreicht und ist λ_1 das Lambda

des mageren Bank, so berechnet sich die theoretisch erreich-

$$\Delta T = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{\lambda_1 - 1}{\lambda_1} \cdot \frac{1}{\sigma + 1} \cdot \frac{1}{C},$$

wobei ρ der spezifische Heizwert ist, σ das stöchiometrische Luftverhältnis ist und C die spezifische Wärmekapazität ist.

[0051] Daher oszillieren bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, die in Fig. 8 dargestellt ist, das erste Luftkraftstoffverhältnis λ_1 und zweite Luftkraftstoffverhältnis λ_2 , so dass das gesamte Luftkraftstoffverhältnis λ_{gesamt} abwechselnd über (magerer) bzw. unter einem Basiswert λ_0 liegt. Das erste Luftkraftstoffverhältnis λ_1 oszilliert dabei zwischen einem Basiswert und einem um $\Delta\lambda$ höheren Wert, das zweite Luftkraftstoffverhältnis λ_2 oszilliert zwischen einem Wert unter (fetter) einem Basiswert und dem Basiswert, wobei die beiden Phasen, in denen der Basiswert erreicht wird, um 90° zueinander verschoben sind.

[0052] Wie sich aus der obigen Erläuterung ergibt, ist es mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der entsprechenden Steuerung möglich, das der Reinigung, insbesondere der Desulfatisierung zugrundeliegende Temperaturmodell des Katalysators zu verfeinern. Durch eine zusätzliche Temperaturmodellierung am Anfang des ersten Monolithen und am Ende des zweiten Monolithen kann bis Erreichen der maximal zulässigen Temperatur am Anfang des ersten Monolithen mit der Zündverstellung und der Lambdasplit-Maßnahme maximal geheizt werden. Danach muss auf den stationären Wert der gewünschten Desulfatisierungstemperatur geregelt werden. Ein gleichmäßiger Übergang zwischen maximalem Heizen und stationärer Einstellung der Desulfatisierungstemperatur ist dabei vorzuziehen, um ein ständiges Hin- und Herspringen der Stellgrößen zu vermeiden. Mit der Einstellung dieses Temperaturprofils wird sichergestellt, dass die Ablagerungen (Schwefel) in dem Katalysator bei der Entgiftung vollständig entfernt werden und nicht lediglich von dem motorseitigen Ende des Katalysators zum gegenüber liegenden Ende des Katalysators wandern.

[0053] Mit Hilfe der Lambdasplit-Maßnahme können die gewünschten Temperaturen sehr schnell und effektiv erreicht werden. Das Katalysatorheizen mit Hilfe der Zündverstellung ist aus Leistungs- und Verbrauchsgründen weniger effektiv, da hierbei Verluste an den Rohren zwischen Motorblock und Katalysator auftreten. Auch dauert es wesentlich länger, bis sich die Temperaturerhöhung im Hauptkatalysator auswirkt. Bei der Lambdasplit-Maßnahme wird dagegen chemische Energie zum Katalysator transportiert, die nur dort Wirkung entfaltet. Je nach Betriebsbedingungen reicht jedoch die Lambdasplit-Maßnahme u. U. nicht aus, um die gewünschte Desulfatisierungstemperatur zu erreichen. Bis durch die Zündverstellung das durch einen Betriebspunktwechsel gewünschte Delta eingestellt wird, kann unter Umständen die Katalysortemperatur unter die Desulfatisierungstemperatur abgefallen sein, so dass ein Abbruch der Desulfatisierung erfolgt. Daher ist es sinnvoll einen gewissen Vorhalt durch die Zündverstellung einzustellen. Dieser Vorhalt (α -Offset) wird in Abhängigkeit von der momentanen Ausnutzung der Lambdasplit-Maßnahme (Quotient aus aktueller Temperaturerhöhung mit Lambdasplit-Maßnahme/mögl. Temperaturerhöhung mit Lambdasplit-Maßnahme) und durch die bisherigen Abbrüche der Desulfatisierung berechnet. Je häufiger die Desulfatisierung fehlgeschlug, desto sicherer sollte desulfatisiert werden und desto höher sollte der Anteil der Katalysatorheizmaßnahme über Zündwinkel sein. Auch der aktuelle Betriebspunkt kann zur Bestimmung des Vorhalts durch die Zündverstellung erfolgen.

[0054] Da das Modell des Temperaturverlaufs im Kataly-

sator sehr ungenau ist ($\pm 20^\circ\text{C}$ bis zu $\pm 50^\circ\text{C}$ je nach Einsatz des Temperatursensors **14**), die Desulfatisierungstemperatur des Katalysators aber bekannt ist, kann eine Adaption des Temperaturmodells bei dem zusätzlichen NO_x-Sensor **20** hinter dem Katalysator **15** erfolgen. Wird bei einer eingeregelter Temperatur um den Katalysator **15** keine erfolgreiche Desulfatisierung des Katalysators **15** mit Hilfe des NO_x-Sensors **20** erkannt, so wird in kleinen Schritten die eingeregelter Temperatur erhöht und festgestellt, ab wann eine erfolgreiche Desulfatisierung erreicht wurde. Mit Hilfe dieses Temperaturpunktes, welcher der bekannten Desulfatisierungstemperatur entspricht, wird dann das Temperaturmodell adaptiert.

Bezugszeichen

1 Zylinderblock	
2 Zylinder	
3 erste Zylinderbank	
4 zweite Zylinderbank	20
5 Kraftstoffzufuhrleitung	
6 Hauptkraftstoffzufuhrleitung	
7 Drosselklappe	
8 Zündvorrichtung	
9 Zündleitung	25
10 Abgasleitung	
11 Teilstrang des Abgaskatalysatorsystems	
12 Hauptrohr des Abgaskatalysatorsystems	
13 Lambdasonde	
14 Temperaturfühler zur Abschätzung der Katalysatortemperatur	30
15 Katalysator des Abgaskatalysatorsystems in Hauptrohr	
16 Katalysatorkammer	
17 erster Monolith	
18 zweiter Monolith	35
19 Auspuff	
20 NO _x -Sonde	
21 Temperaturverlauf über Katalysator zu Beginn der Heizphase	
22 Temperaturverlauf über Katalysator nach Einstellung des Gleichgewichts	40
23 Motor	
24 Steuerungsvorrichtung	
25 NO _x -Sensor	
26 Zündwinkleinstellung/-erfassung	45
27 erste Lambdaeinstellung/-erfassung	
28 zweite Lambdaeinstellung/-erfassung	
29 Register	
30 Addierer	
31–50 Verfahrensschritte	50

Patentansprüche

1. Verfahren zum Reinigen eines Katalysators (**17, 18**) in einer Abgasanlage einer Mehrzylinderbrennkraftmaschine, die wenigstens eine erste und wenigstens eine zweite Zylindergruppe (**3, 4**) mit jeweils mehreren Zylindern (**2**) aufweist, wobei die Abgasanlage mehrere Teilstränge (**11**) umfasst, die jeweils von der wenigstens einen ersten Zylindergruppe (**3**) bzw. von der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe (**4**) ausgehen und sich zu einem gemeinsamen Hauptrohr (**12**) vereinigen, in dem der Katalysator (**17, 18**) angeordnet ist, und jede der wenigstens einen ersten und der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe (**3, 4**) mit einem Luftkraftstoffgemisch versorgt wird, dessen Luftkraftstoffverhältnis (λ) durch eine von mehreren unabhängig ansteuerbaren Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtungen (**7**) einstellbar ist, mit den Schritten:

Erfassen des jeweiligen momentanen Luftkraftstoffverhältnisses (λ_1, λ_2) der wenigstens einen ersten und der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe (**3, 4**) durch wenigstens eine erste und wenigstens eine zweite Lambdasonde (**13**),
 Einstellen des Zündwinkels (α) und Zünden des Luftkraftstoffgemischs in dem jeweiligen Zylinder (**2**) durch eine Zündvorrichtung (**8**),
 wobei eine Steuerungsvorrichtung (**24**) zum Steuern mit den mehreren unabhängig ansteuerbaren Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtungen (**7**), mit der Zündvorrichtung (**8**) und mit der wenigstens einen ersten und wenigstens einen zweiten Lambdasonde (**13**) verbunden ist,
 Reinigen des Katalysators (**17, 18**) von unerwünschten Substanzen durch Verändern einer Betriebsbedingung der Mehrzylinderbrennkraftmaschine, so dass sich die Temperatur des Katalysators (**17, 18**) für eine vorgegebene Dauer auf eine vorgegebene Zieltemperatur (T_z) erhöht,
gekennzeichnet durch die Schritte:
 Verschieben des Zündwinkels (α) durch die Zündvorrichtung (**8**) um eine Zündwinkelverstellung ($\Delta\lambda$), so dass eine vorgegebene Zündwinkelverstelltemperatur ($T\alpha$) in dem Katalysator (**17, 18**) erreicht wird, und
 Versorgen der wenigstens einen ersten und der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe (**3, 4**) jeweils mit einem Luftkraftstoffgemisch, wobei durch die erste bzw. die zweite Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtung (**7**) die Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis (λ_1) der wenigstens einen ersten Zylindergruppe (**3**) und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis (λ_2) der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe (**4**) so eingestellt wird, dass die Temperatur (T) in dem Katalysator (**17, 18**) von der Zündwinkelverstelltemperatur ($T\alpha$) auf die Zieltemperatur (T_z) steigt.
 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die vorgegebene Zündwinkelverstelltemperatur ($T\alpha$) in dem Katalysator (**17, 18**) so gewählt ist, dass die Laufruhe des Motors einen vorgegebenen Wert nicht unterschreitet.
 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die vorgegebene Zündwinkelverstelltemperatur ($T\alpha$) in dem Katalysator (**17, 18**) von einer Anzahl (N) von vorherigen Fehlversuchen der Reinigung des Katalysators abhängt.
 4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei jedem Reinigen ein Wert (N) in einem Register (**29**) inkrementiert wird, der auf Null gesetzt wird, wenn die Reinigung des Katalysators (**17, 18**) erfolgreich abgeschlossen wurde.
 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei jeder Inkrementierung des Wertes (N) in dem Register (**29**) die Zündwinkelverstelltemperatur ($T\alpha$) jeweils um einem vorgegebenen Betrag ($\Delta T\alpha_1, \Delta T\alpha_2, \dots$) steigt.
 6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündwinkelverstelltemperatur ($T\alpha$) linear mit dem Wert (N) in dem Register (**29**) steigt.
 7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündwinkelverstelltemperatur ($T\alpha$) von dem Quotienten aus der momentanen Differenz und der maximal möglichen Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis (λ_1) und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis (λ_2) abhängt.
 8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche

che, dadurch gekennzeichnet, dass die Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis (λ_1) und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis (λ_2) anfangs einer Reinigungsperiode einen Maximalwert annimmt und anschließend stetig gegen einen stationären Wert strebt.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das erste und das zweite Luftkraftstoffverhältnis (λ_1 , λ_2) abwechselnd über bzw. unter einem Mittelwert (λ_0) liegen, so dass die Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis (λ_1) und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis (λ_2) oszilliert.

10. Motorsteuerung einer Mehrzylinderbrennkraftmaschine, die wenigstens eine erste und wenigstens eine zweite Zylindergruppe (3, 4) mit jeweils mehreren Zylindern (2) aufweist, mit einer Abgasanlage, die mehrere Teilstränge (11) umfasst, die jeweils von der wenigstens einen ersten Zylindergruppe (3) bzw. von der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe (4) ausgehen und sich zu einem gemeinsamen Hauptrohr (12) vereinigen, in dem ein Katalysator (17, 18) angeordnet ist, und jede der wenigstens einen ersten und der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe (3, 4) mit einem Luftkraftstoffgemisch versorgt wird, dessen Luftkraftstoffverhältnis (λ) durch eine von mehreren unabhängig ansteuerbaren Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtungen (7) einstellbar ist, die unter anderem umfasst: wenigstens eine erste und wenigstens eine zweite Lambdasonde (13) zum Erfassen des jeweiligen momentanen Luftkraftstoffverhältnisses (λ_1 , λ_2) der wenigstens einen ersten und der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe (3, 4), eine Zündvorrichtung (8) zum Einstellen des Zündwinkels (α) und Zünden des Luftkraftstoffgemischs in dem jeweiligen Zylinder (2) und eine Steuerungsvorrichtung (24), die mit den mehreren unabhängig ansteuerbaren Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtungen (7), mit der Zündvorrichtung (8) und mit der wenigstens einen ersten und wenigstens einen zweiten Lambdasonde (13) verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass

zum Reinigen des Katalysators (17, 18) von unerwünschten Substanzen durch Verändern einer Betriebsbedingung der Mehrzylinderbrennkraftmaschine bei einer vorgegebenen Zieltemperatur (T_z), die für eine vorgegebene Dauer eingehalten wird, durch die Zündvorrichtung (8) der Zündwinkel (α) um eine Zündwinkeldifferenz ($\Delta\alpha$) verschoben wird, so dass eine vorgegebene Zündwinkelverstelltemperatur (T_α) in dem Katalysator (17, 18) erreicht wird, und durch die erste bzw. die zweite Luftkraftstoffeinstellungsvorrichtung (7) die Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis (λ_1) der wenigstens einen ersten Zylindergruppe (3) und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis (λ_2) der wenigstens einen zweiten Zylindergruppe (4) so eingestellt wird, dass die Temperatur (T) in dem Katalysator (17, 18) von der Zündwinkelverstelltemperatur (T_α) auf die Zieltemperatur (T_z) steigt.

11. Motorsteuerung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündwinkelverstelltemperatur (T_α) in dem Katalysator (17, 18) so gewählt ist, dass die Laufruhe des Motors einen vorgegebenen Wert nicht unterschreitet.

12. Motorsteuerung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündwinkelverstelltemperatur (T_α) in dem Katalysator (17, 18) von einer

Anzahl (N) von vorherigen Fehlversuchen der Reinigung des Katalysators abhängt.

13. Motorsteuerung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass bei jedem Reinigen ein Wert (N) in einem Register (29) inkrementiert wird, der auf Null gesetzt wird, wenn die Reinigung des Katalysators (17, 18) erfolgreich abgeschlossen wurde.

14. Motorsteuerung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass bei jeder Inkrementierung des Wertes (N) in dem Register (29) die Zündwinkelverstelltemperatur (T_α) jeweils um einem vorgegebenen Betrag ($\Delta T_\alpha 1$, $\Delta T_\alpha 2$, ...) steigt.

15. Motorsteuerung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündwinkelverstelltemperatur (T_α) linear mit dem Wert (N) in dem Register (29) steigt.

16. Motorsteuerung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündwinkelverstelltemperatur (T_α) von dem Quotienten aus der momentanen Differenz und der maximal möglichen Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis (λ_1) und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis (λ_2) abhängt.

17. Motorsteuerung nach einem der Ansprüche 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis (λ_1) und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis (λ_2) anfangs einer Reinigungsperiode einen Maximalwert annimmt und anschließend stetig gegen einen stationären Wert strebt.

18. Motorsteuerung nach einem der Ansprüche 10 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass das erste und das zweite Luftkraftstoffverhältnis (λ_1 , λ_2) abwechselnd über bzw. unter einem Mittelwert (λ_0) liegen, so dass die Differenz zwischen dem ersten Luftkraftstoffverhältnis (λ_1) und dem zweiten Luftkraftstoffverhältnis (λ_2) oszilliert.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass ein zusätzlicher NOx-Sensor hinter dem Katalysator (17, 18) angeordnet ist zur Überwachung der Effizienz des Katalysators (17, 18).

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

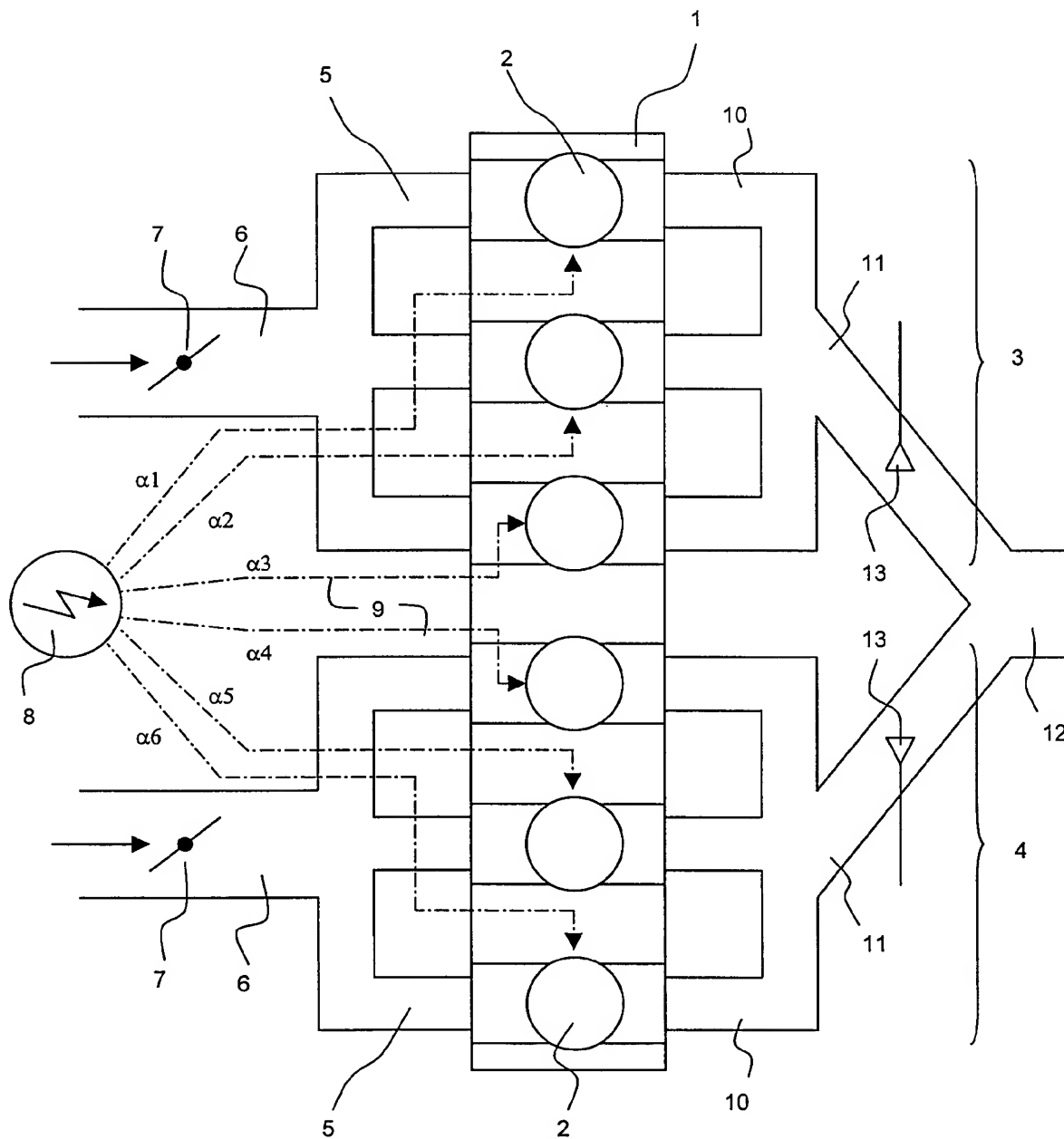


FIG. 1

FIG. 2A

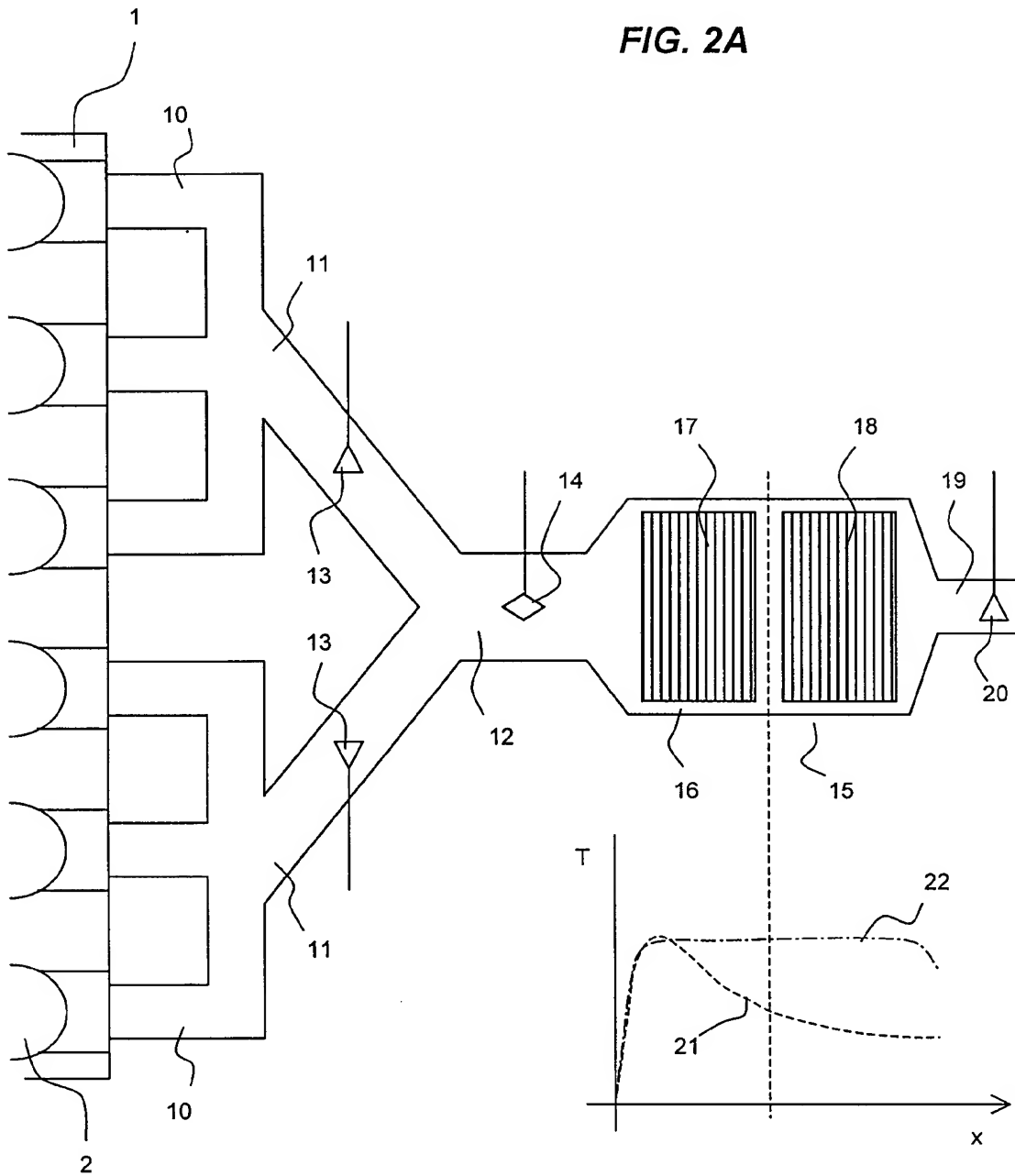


FIG. 2B

FIG. 3A

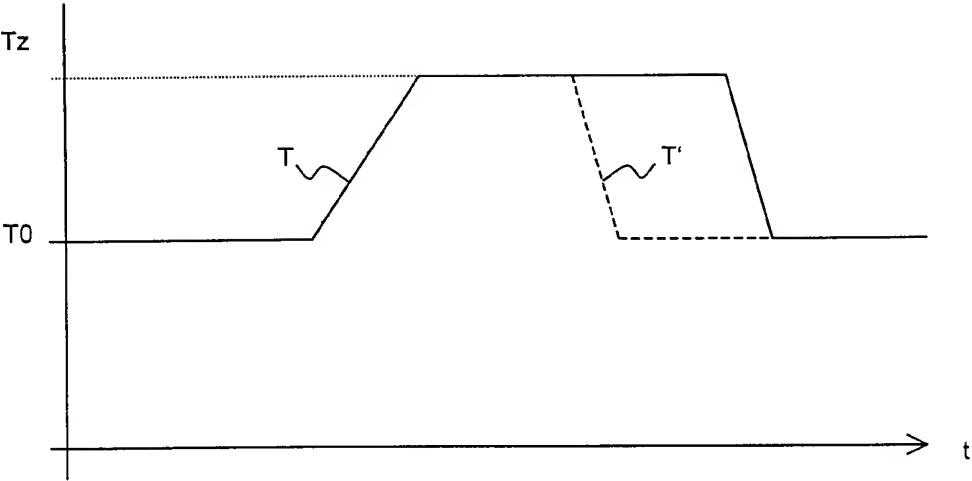


FIG. 3B

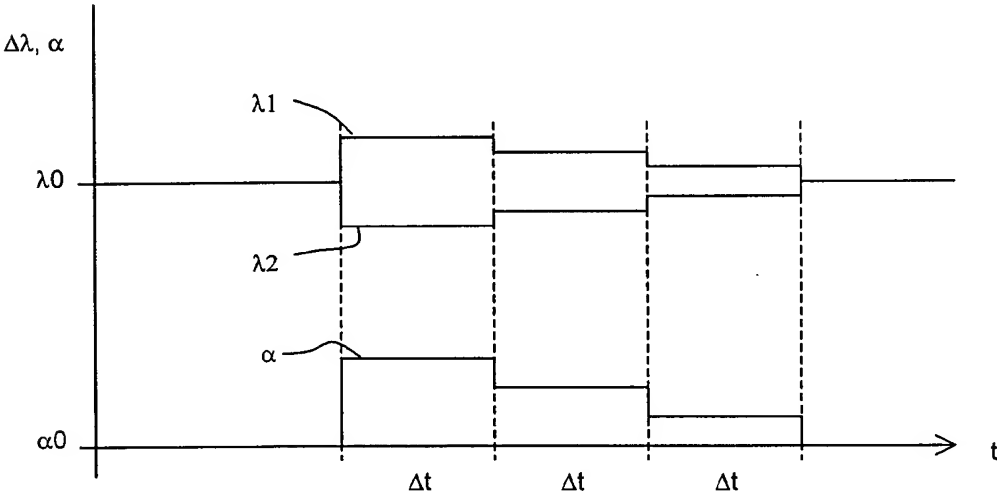


FIG. 3C

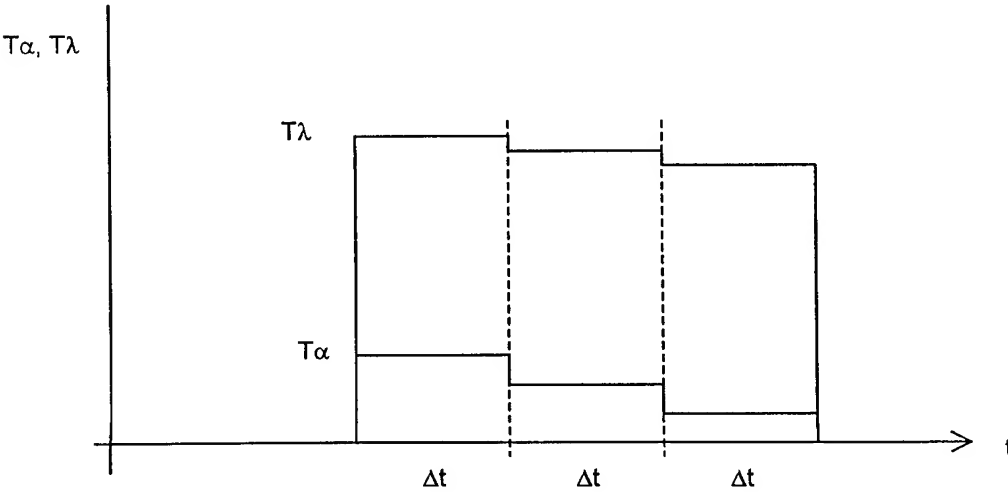


FIG. 4

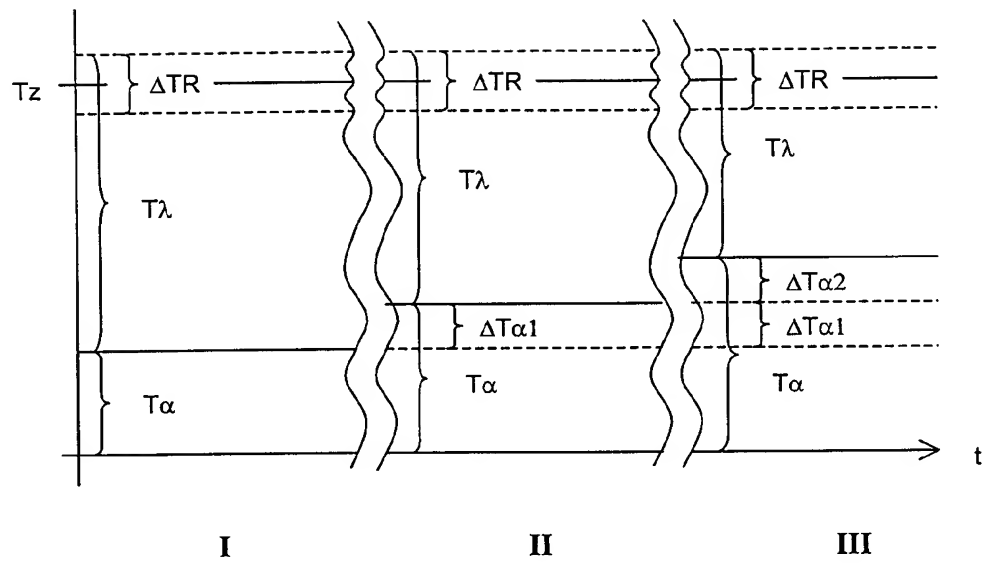


FIG. 7

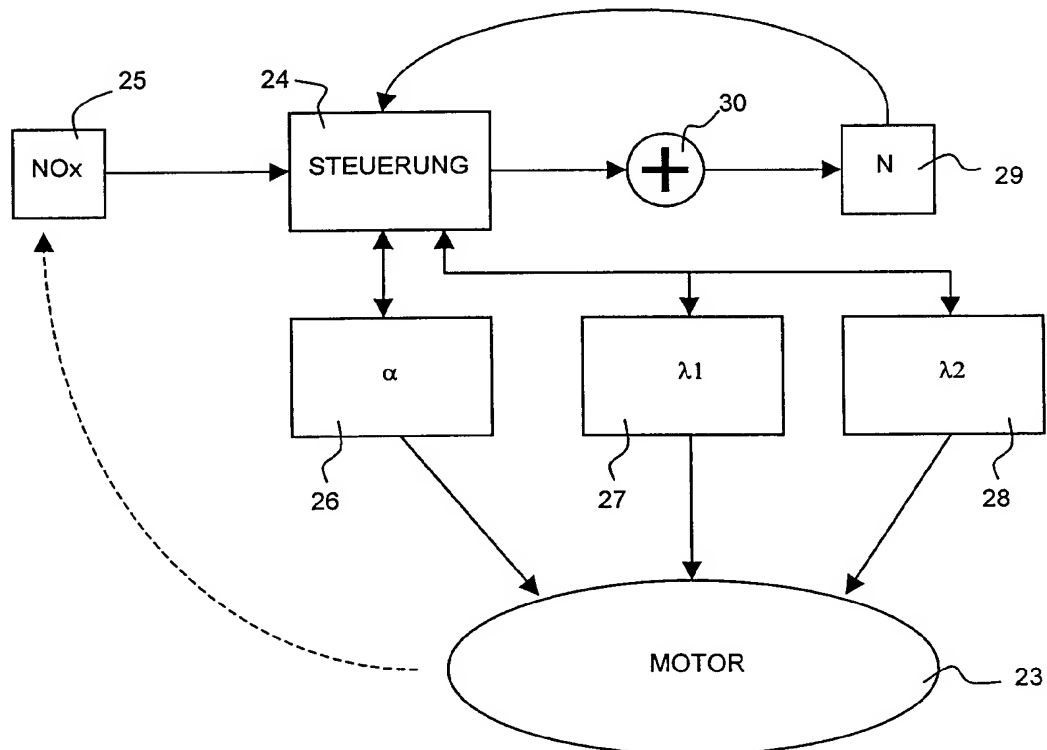
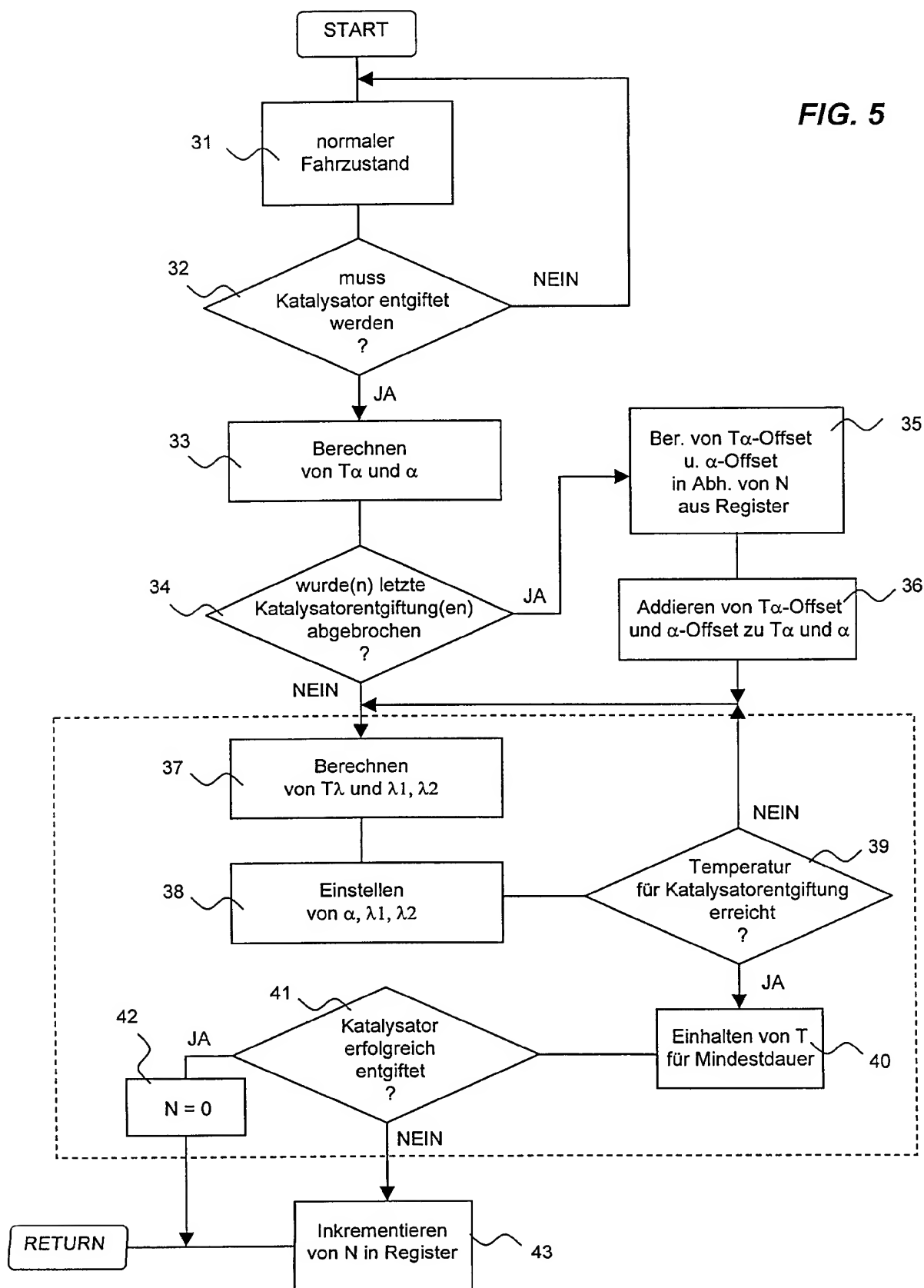


FIG. 5



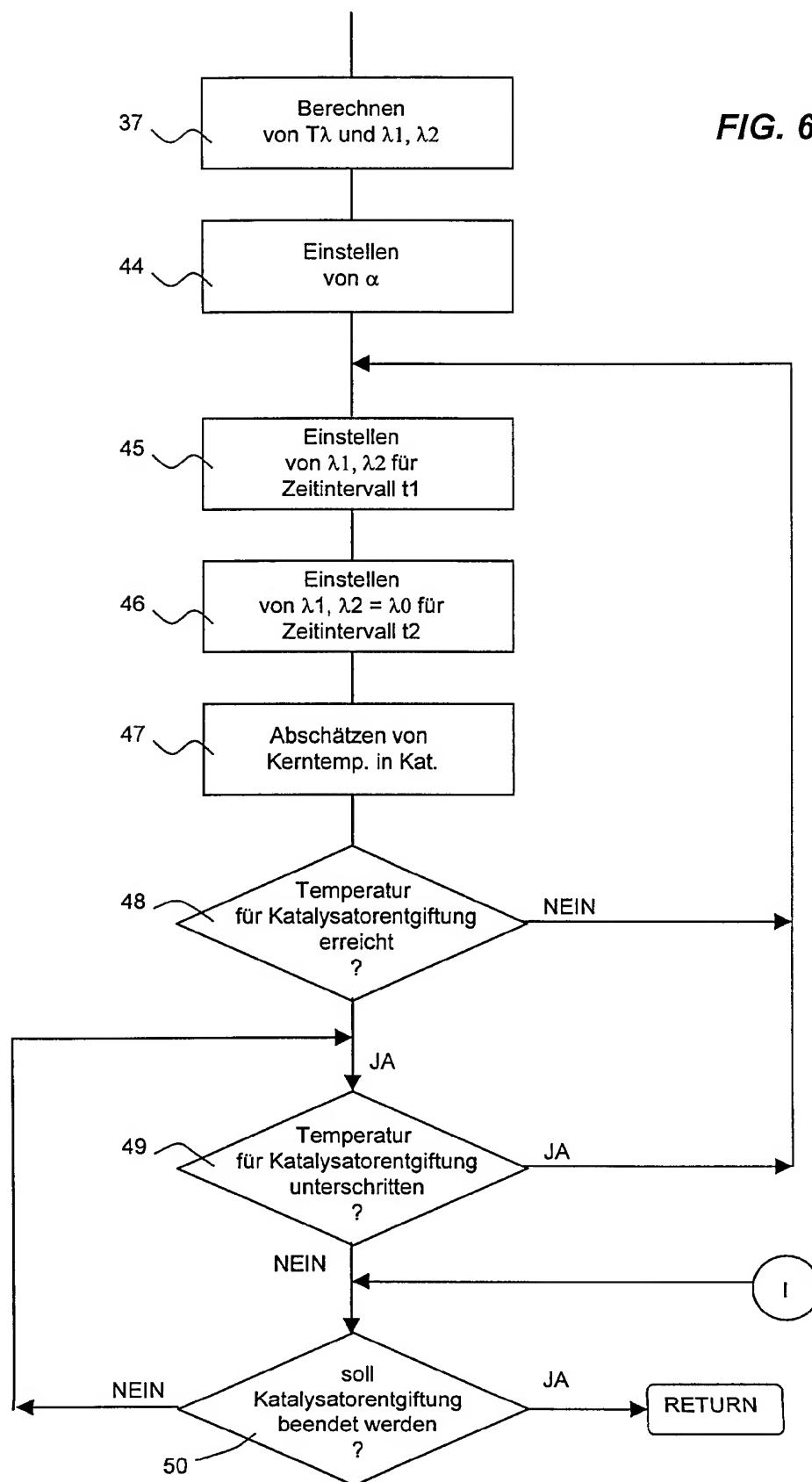


FIG. 8